

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y  
AMBIENTAL**



**TRATAMIENTO DEL AFLUENTE DE LA LAGUNA DE  
OXIDACIÓN MEDIANTE FITORREMEDIACIÓN DEL  
*Eichhornia crassipes* Y *Lemna minor*; EN JAÉN-  
CAJAMARCA.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

**AUTORES** : Bach. Jarli Guerrero Becerra  
Bach. Frank Keyni Jibaja Barboza

**ASESOR** : M.Sc. Víctor Hugo Gómez Ramírez

**JAÉN – PERÚ, DICIEMBRE, DEL 2019**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 20 de diciembre del año 2019; siendo las 11:20 horas, se reunieron los **Miembros del Jurado Evaluador**:

**Presidente** Dr. JUAN MANUEL GARAY ROMÁN  
**Secretaria** Mg. MARÍA MARLENI TORRES CRUZ  
**Vocal** Dr. ALEXANDER HUAMÁN MERA

Para evaluar la Sustentación del **INFORME FINAL DE TESIS**; titulado: "TRATAMIENTO DEL AFLUENTE DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN MEDIANTE FITORREMEDIACIÓN DEL *Eichhornia crassipes* Y *Lemna minor*; EN JAÉN-CAJAMARCA", presentado por los Bachilleres Frank Keyni Jibaja Barboza y Jarli Guerrero Becerra de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, los **Miembros del Jurado Evaluador** acuerdan:

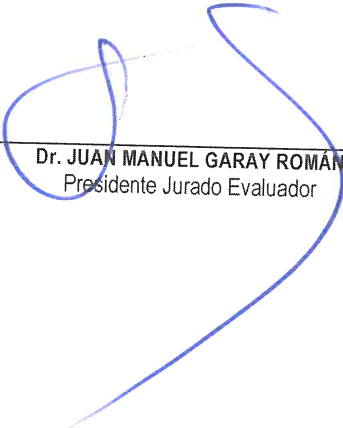
( ☒ ) Aprobar ( ) Desaprobar ( ☒ ) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	( )
Muy bueno	16, 17	( )
Bueno	14, 15	( )
Regular	13	( <input checked="" type="checkbox"/> )
Desaprobado	12 o menos	( )

Siendo las 12:35 horas del mismo día, los Miembros del Jurado Evaluador concluyen el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

  
Mg. MARIA MARLENI TORRES CRUZ  
Secretaria Jurado Evaluador

  
Dr. JUAN MANUEL GARAY ROMÁN  
Presidente Jurado Evaluador

  
Dr. ALEXANDER HUAMÁN MERA  
Vocal Jurado Evaluador

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	6
ÍNDICE DE ANEXOS .....	7
RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo general .....	12
2.2 Objetivo específico.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1 Materiales .....	13
3.1.1 Material experimental.....	13
3.1.2 Materiales de oficina .....	13
3.1.3 Materiales de campo.....	13
3.1.4 Materiales de laboratorio .....	13
3.2 Metodología.....	14
3.2.1 Ubicación geográfica.....	14
3.2.2 Tipo de investigación.....	15
3.2.3 Diseño experimental .....	15
3.2.4 Dimensionamiento y construcción de los estanques .....	16
3.2.5 Acondicionamiento del lugar.....	17
3.2.6 Recolección de especies de plantas acuáticas.....	17
3.2.7 Instalación del sistema.....	18
3.2.8 Frecuencia de monitoreo .....	18
3.2.9 Procedimiento de muestreo de datos .....	19

3.2.10 Análisis de muestras .....	20
IV. RESULTADOS .....	23
4.1 Durante el periodo de evaluación se obtuvieron los siguientes resultados .....	23
4.2 Evaluación y comparación del rendimiento de depuración del Jacinto ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) y Lenteja de Agua ( <i>Lemna Minor</i> ).....	24
4.2.1 pH .....	24
4.2.2 Conductividad Eléctrica .....	25
4.2.3 Oxígeno Disuelto.....	26
4.2.4 DBO <sub>5</sub> .....	27
4.2.5 Temperatura.....	28
4.3 Comparación de los resultados con los Límites Máximos Permisibles. ....	29
V. DISCUSIÓN.....	31
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	34
6.1 Conclusiones .....	34
6.2 Recomendaciones.....	35
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
AGRADECIMIENTO .....	39
DEDICATORIA.....	40
ANEXOS .....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Posicionamiento de las especies en los recipientes. ....	16
<b>Tabla 2:</b> Frecuencia de monitoreo de parámetros fisicoquímicos y biológicos. ....	18
<b>Tabla 3:</b> Preservación de parámetros fisicoquímicos y biológico .....	20
<b>Tabla 4:</b> Criterios para determinar la dilución aproximada de la muestra. ....	22
<b>Tabla 5:</b> Resultados generales (ver anexo 1) .....	24
<b>Tabla 6:</b> Comparación de los resultados con los Límites Máximos Permisibles .....	30
<b>Tabla 7:</b> Resultados del primer monitoreo .....	41
<b>Tabla 8:</b> Resultados del segundo monitoreo.....	41
<b>Tabla 9:</b> Resultados del tercer monitoreo .....	41
<b>Tabla 10:</b> Análisis de varianza para el pH.....	41
<b>Tabla 11:</b> Análisis de varianza para la conductividad eléctrica .....	42
<b>Tabla 12:</b> Análisis de varianza para el oxígeno disuelto .....	42
<b>Tabla 13:</b> Análisis de varianza para la DBO <sub>5</sub> .....	42
<b>Tabla 14:</b> Análisis de varianza para la temperatura.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa de ubicación del área de estudio. ....	14
<b>Figura 2:</b> Mapa de ubicación satelital del área de estudio.....	15
<b>Figura 3:</b> Diseño del sistema experimental .....	16
<b>Figura 4:</b> Dimensionamiento de los estanques .....	17
<b>Figura 5:</b> Muestra en Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PTAR.....	19
<b>Figura 6:</b> Valores de pH. ....	25
<b>Figura 7:</b> Valores de Conductividad eléctrica. ....	26
<b>Figura 8:</b> Valores de Oxígeno disuelto.....	27
<b>Figura 9:</b> Valores de DBO <sub>5</sub> . ....	28
<b>Figura 10:</b> Valores de temperatura. ....	28

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1:</b> Instalación de los estanques .....	43
<b>Fotografía 2:</b> Recolección de Jacinto de agua ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) .....	43
<b>Fotografía 3:</b> Recolección de la Lenteja de agua ( <i>Lemna minor</i> ) .....	43
<b>Fotografía 4:</b> Recolección del agua residual .....	44
<b>Fotografía 5:</b> Instalación del agua residual en los estaques .....	44
<b>Fotografía 6:</b> Instalación de las especies acuáticas .....	44
<b>Fotografía 7:</b> Análisis de parámetros con el equipo Multiparámetro Multi 3630 IDS (pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad, Temperatura).....	45
<b>Fotografía 8:</b> Preparación del agua de dilución.....	45
<b>Fotografía 9:</b> Calculo de OD inicial - Análisis de la DBO <sub>5</sub> .....	45
<b>Fotografía 10:</b> Calculo de OD final – Análisis de la DBO <sub>5</sub> .....	46
<b>Fotografía 11:</b> Poza con Lirio de agua – Playa escondida .....	46

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1:</b> Resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológico ..	41
<b>Anexo 2:</b> Análisis de varianza.....	41
<b>Anexo 3:</b> Panel fotográfico .....	43



## RESUMEN

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías donde usan plantas para restaurar ambientes contaminados, puede realizarse in situ o ex situ. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar y comparar el rendimiento de depuración del Jacinto (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*). El agua residual domestica fue previamente tratada y tuvo una duración de 1 mes, con 3 tratamientos, los parámetros analizados fueron: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura; fueron analizados con el equipo Multiparámetro Multi 3630 IDS, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) se realizó mediante la metodología de dilución. Se consiguió parámetros iniciales de pH = 7.52, CE = 382.00 µS/cm, OD = 3.33 mg/L, DBO<sub>5</sub> = 140.00 mg/L y Temperatura = 25.20 °C. Luego de un mes de evaluación se identificó que el *Eichhornia Crassipes* obtuvo valores de pH = 7.09, CE = 382.00 µS/cm, OD = 5.80 mg/L, DBO<sub>5</sub> = 23.83 mg/L y Temperatura = 23.63°C, con respecto a la *Lemna Minor* que obtuvo valores de pH = 8.15, CE = 446.00 µS/cm, OD = 4.40 mg/L, DBO<sub>5</sub> = 31.52 mg/L y Temperatura = 23.73°C; Obteniendo, así como resultado que el *Eichhornia Crassipes* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales.

**Palabras clave:** Depuración; laguna de oxidación; macrófitas.

## ABSTRACT

Phytoremediation is a set of technologies which use plants to restore contaminated environments can be performed in situ or ex situ. This research aimed to evaluate and compare the performance of debugging hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and duckweed (*Lemna minor*). Domestic wastewater was pretreated and lasted one month, with three treatments, the following parameters were analyzed: pH, electrical conductivity (EC), Dissolved Oxygen (DO), temperature; were analyzed with the computer Multiparameter Multi 3630 IDS, the Biochemical Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>) was performed by dilution methodology. initial parameters of pH = 7.52 was achieved, CE = 382.00 µS/cm, OD = 3.33 mg/L, BOD<sub>5</sub> = 140.00 mg/L Temperature = 25.20 °C. After a month evaluation identified the *Eichhornia crassipes* obtained pH = 9.7, CE = 382.00 µS/cm, OD = 5.80 mg/L, BOD<sub>5</sub> = 23.83 mg/L Temperature = 23.63 °C, with respect to *Lemna Minor* that obtained pH = 15.8, CE = 446.00 µS/cm, OD = 4.40 mg/L, BOD<sub>5</sub> = 31.52 mg/L Temperature = 23.73 °C; Obtaining and *Eichhornia crassipes* result that is more efficient in the treatment of wastewater.

**Keywords:** Depuration; Oxidation pond; macrophytes.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La contaminación del agua puede ser de múltiples formas, según la procedencia de los desechos; por sedimentos, materia orgánica, biosidas, metales pesados y otros elementos tóxicos que provocan distintos grados de impactos sobre las características físico-químicas del agua, sobre la flora, la fauna y el hombre (Minaya, 2017). El agua residual es aquel que haya sufrido degradación en su calidad original por las actividades antrópicas el mismo que la hace no apta para el uso deseado (Gualán, 2016)

Las aguas residuales en el Perú y en todas las partes del mundo viene hacer uno de los problemas más significativos de hoy en día; puesto que para este problema se han realizado sistemas de tratamientos naturales para la descontaminación de estas aguas residuales y que son una alternativa sustentable, eficiente y económica debido a su mínimo costo de edificación y operación frente a los sistemas convencionales (Arce, 2013).

La fitorremediación es una técnica que se puede realizar in situ o ex situ; lo cual hace que la planta acuática aproveche su capacidad para remover, absorber, acumular y estabilizar contaminantes que se pueden encontrar en el agua como: Compuestos orgánicos e inorgánicos, metales pesados, entre otros; y a partir de sus procesos bioquímicos obtenemos como resultado la rehabilitación de ambientes afectados por contaminación natural y antropogénica (Acevedo, Delgadillo, González, Prieto, & Villagómez, 2011). Fitorremediación hace referencia a una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos, e incluso aire. Fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales (Núñez, Meas, Ortega, & Olguín, 2004)

Debido a la habilidad que tienen las macrófitas acuáticas para asimilar hasta cierto punto, todos los constituyentes del agua considerando como contaminantes, estas se han empleado en la detección y remoción de sustancias en afluentes de aguas residuales ; por consiguiente se afirman que el uso de las plantas acuáticas en tratamientos secundarios y terciarios de aguas residuales, han demostrado ser eficientes en la remoción de una amplia gama de sustancias orgánicas, así como nutrientes y metales pesados (Martelo & Borrero, 2012)

La macrofita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua); es una planta acuática flotante conocida por su capacidad de producción y la eliminación de contaminantes del agua (Perales, 2018). *Lemna minor* (Lenteja de agua); asimilan los nutrientes del efluente de las aguas residuales y han mostrado facilidad para extraer rápidamente de las aguas algunos metales tales como el zinc, manganeso y fierro, así como para remover gran cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio en las aguas servidas (Garcia, 2012).

En la actualidad las aguas residuales que se generan en la provincia de Jaén no cumplen con un proceso adecuado y son vertidas a cuerpos receptores (sequias, quebrada), sin embargo, estas aguas son consumidas y aprovechadas por la biodiversidad acuática y las distintas actividades humanas (agricultura) causando enfermedades y daños ambientales.

La presente investigación buscó desarrollar y proponer una alternativa ambiental para aprovechar y aplicar los procesos naturales que ocurren en el ecosistema; descontaminando de una manera más eficiente las aguas residuales en nuestra provincia de Jaén y de resultar benéfico, se podría aprovechar en ámbitos de mayor o menor amplitud; asimismo también se contribuiría con las entidades públicas y particulares que se encargan del tratamiento de las aguas residuales para el mejoramiento de su calidad fisicoquímica de la misma, mediante un experimento demostrativo que se puede hacer en diferentes ámbitos que no cuenten con un sistema de tratamiento adecuado.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó estanques pequeños conteniendo el afluente residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), donde se trabajó con un testigo y las especies de *Eichhornia Crassipes* (Lirio de Agua) y *Lemna Minor* (Lenteja de Agua).

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

- Tratar el afluente de la laguna de oxidación empleando *Eichhornia Crassipes* y *Lemna Minor* como fitorremediadores; en Jaén-Cajamarca.

### **2.2 Objetivo específico**

- Construcción de estanques de fitorremediación para el Jacinto y Lenteja de agua.
- Evaluar y comparar el rendimiento de depuración del Jacinto (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*).
- Comparar los parámetros pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Temperatura del afluente residual; de la laguna de oxidación con lo establecido en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Materiales**

##### **3.1.1 Material experimental**

- Afluente residual de la planta de tratamiento de la Provincia de Jaén.
- Ejemplares de *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua).
- Ejemplares de *Lemna minor* (Lenteja de agua).

##### **3.1.2 Materiales de oficina**

- Libreta
- Laptop
- Cámara fotográfica

##### **3.1.3 Materiales de campo**

- Baldes Plásticos
- Estanques
- Fichas de registro de campo
- GPS – cámara fotográfica – programa Note Cam.

##### **3.1.4 Materiales de laboratorio**

- Multiparámetro
- Reactivo para PH 4.0 y 7.0
- Cloruro de calcio dihidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ )
- Sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ )
- Agua destilada
- Probeta graduada de 5 ml
- Probeta graduada de 500 ml
- Vasos de precipitación 50 ml
- Vasos de precipitación de 1000 ml
- Guantes
- Mascarilla
- Balanza analítica

- Láminas de reloj
- Bageta
- Espátulas

**a) Otros materiales**

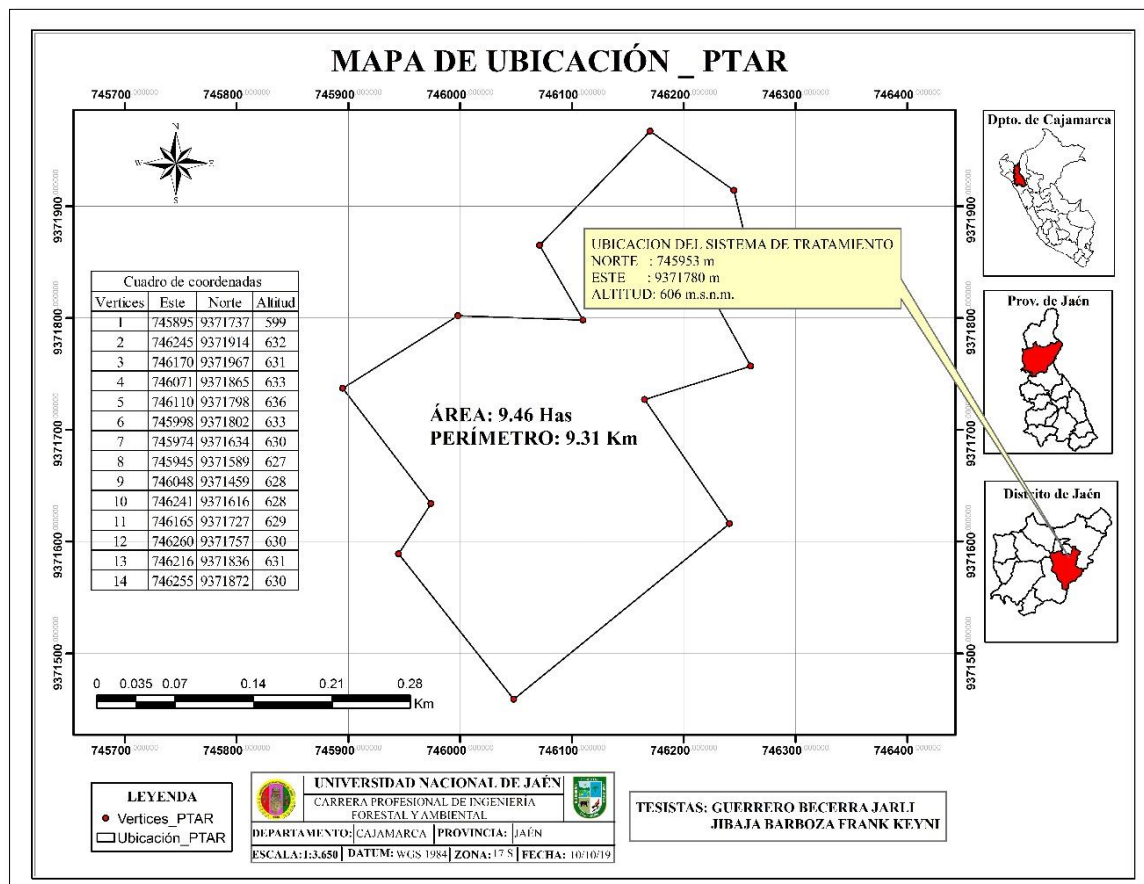
- Equipos de protección personal (EPP)

## 3.2 Metodología

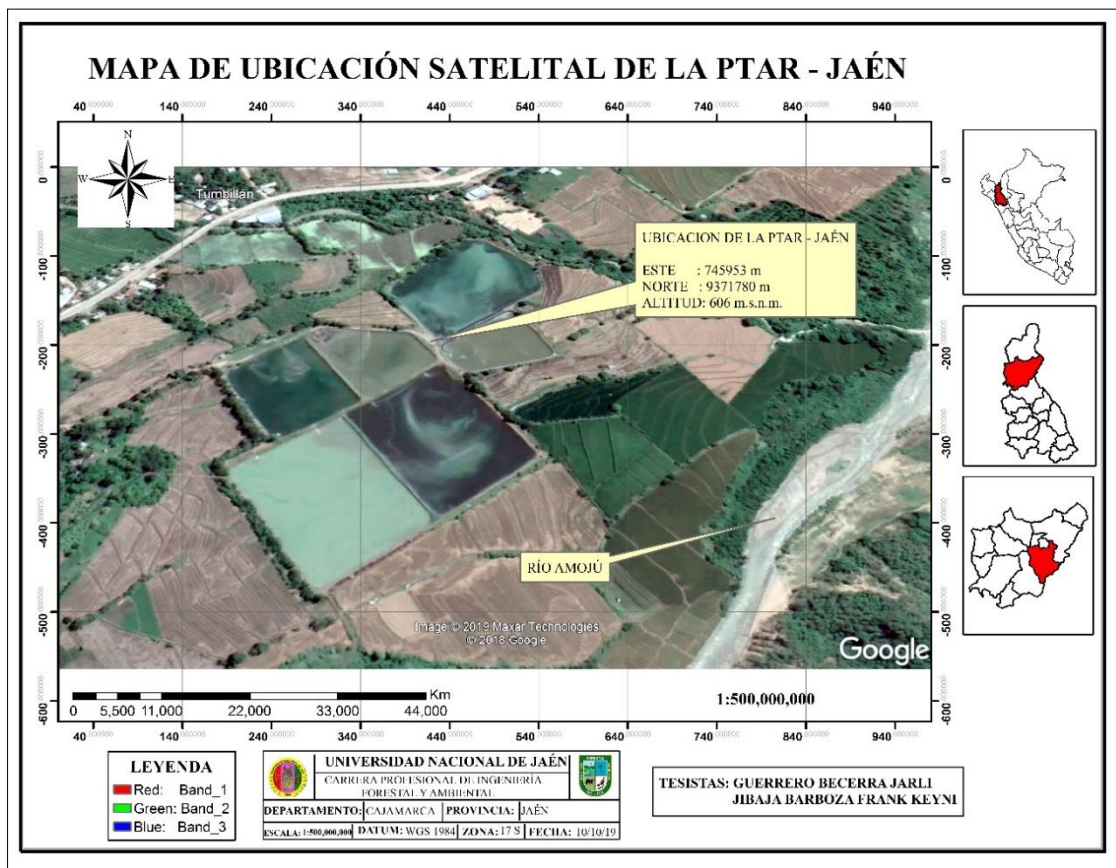
### 3.2.1 Ubicación geográfica

**a) Área de estudio**

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) está ubicada al norte de la ciudad de Jaén, el afluyente que se utilizó para la ejecución del proyecto tiene las siguientes coordenadas UTM: Norte: 745953 m; Este: 9371780 m; Altitud: 606 m.s.n.m. (figura 1 y figura 2). El presente trabajo de investigación se desarrolló y ejecutó en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Jaén, Distrito de Jaén, en el sector Los Sauces.



**Figura 1:** Mapa de ubicación del área de estudio.



**Figura 2:** Mapa de ubicación satelital del área de estudio

### 3.2.2 Tipo de investigación

**Por su carácter de medida:** Cuantitativa y cualitativa, se basa en resultados numéricos obtenidos de las muestras de laboratorio que servirán como base para el análisis y procesamiento de datos, y será comparado con lo establecido en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM.

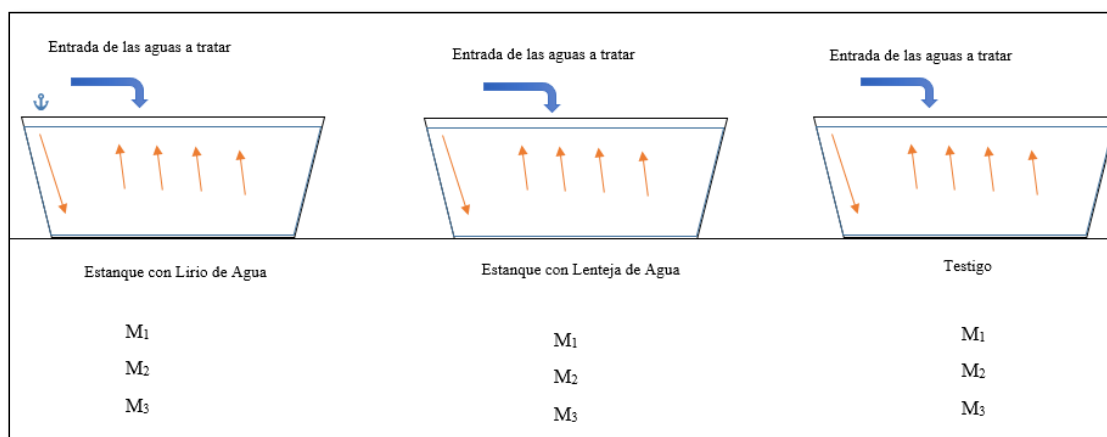
**Por el método de investigación:** Es de tipo experimental.

### 3.2.3 Diseño experimental

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó 3 sistemas de tratamiento de flujo discontinuo; que consta de un estanque para cada sistema, el cual simula a una laguna pequeña con agua estancada. En dos de los 3 sistemas se cultivaron las plantas de Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) y Lenteja de Agua (*Lemna Minor*), y en el



tercer sistema consistió en un estanque sin plantas acuática al cual se le llamó testigo como se muestra en la figura 3.



**Figura 3:** Diseño del sistema experimental

Se realizó dos tratamientos y un testigo. Con estos resultados se realizó las discusiones y comparaciones respectivas.

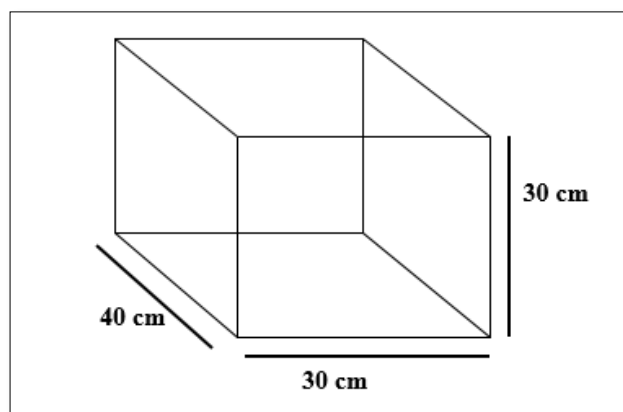
- Tratamiento con *Eichornia Crassipes* se colocó 7 ejemplares.
- Tratamiento con *Lemna Minor* se colocó 30 gr.
- Afluente residual sin tratamiento (Testigo) (Garay, 2017)

**Tabla 1:** Posicionamiento de las especies en los recipientes.

REPETICIONES	TRATAMIENTO CON <i>Eichornia crassipes</i> (a)	TRATAMIENTO CON <i>Lemna minor</i> (b)	TESTIGO (c)
R.01	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Lemna minor</i>	Afluente residual

### 3.2.4 Dimensionamiento y construcción de los estanques

Para llevar a cabo el proceso de investigación, se construyeron estanques de vidrio de 30 cm de alto, 30 cm de ancho y 40 cm de largo; en los cuales se añadió agua residual de modo que se ha estimado una capacidad de almacenamiento de 30 litros ( $0.030 \text{ m}^3$ ) por cada recipiente. Se utilizó 30 L, estanque fue llenado a 25 cm de altura, no se llenó al ras del estanque por motivos de que al introducir las plantas el agua rebosaba.



**Figura 4:** Dimensionamiento de los estanques

### 3.2.5 Acondicionamiento del lugar

Se realizó la limpieza y preparación del área; se delimitó el área y se procedió a instalar el techo de malla rashell para impedir el contacto directo con los factores externos a una altura de 1.8 m, posteriormente se instaló una plataforma de ladrillo de 0.2 m a nivel del suelo; posteriormente se instaló los estanques de vidrio. Estos fueron instalados en el sector los Sauces – Jaén, ubicado en las coordenadas UTM Norte: 742629 m; Este: 9369889 m; Altitud: 737 m.s.n.m.

### 3.2.6 Recolección de especies de plantas acuáticas

La recolección de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), se realizó del sector el Huito – La Perla escondida, ubicado en las coordenadas UTM Norte: 742623 m; Este: 9371070 m; Altitud: 817 m.s.n.m. Para el traslado de las especies acuáticas se usó un recipiente de plástico (balde de 5 L de capacidad).

La recolección de la *Lemna minor* (Lenteja de agua), se realizó del sector Yanuyacu- Jaén, ubicado a orilla del Río Amojú y las chacras de arroz en las coordenadas UTM Norte: 749451 m; Este: 9374473 m; Altitud: 522 m.s.n.m. Para el traslado de las especies acuáticas se usó un recipiente de plástico (balde de 5 L de capacidad).

Estas especies fueron sometidas en agua de la red durante 2 días para su aclimatación y eliminación de sustancias extrañas.

### 3.2.7 Instalación del sistema

Se instalaron estanques de vidrio 30 cm de alto, 30 cm de ancho y 40 cm de largo; en los cuales se añadieron agua residual a una altura de 25 cm con capacidad de almacenamiento de 30 litros (0.030 m<sup>3</sup>) por cada recipiente.

Recolección del afluente residual: Se recolectó en recipientes de plástico, el día 11 de septiembre del 2019, en un lapso de tiempo de dos horas (06:00 –08:00). Estos fueron trasladados por un lapso de 12 minutos desde la planta de tratamiento hasta el lugar de experimentación ubicado en el sector los Sauces – Jaén.

Instalación de las plantas acuáticas: Una vez lleno los estanques se procedió a instalar las plantas acuáticas, utilizamos guantes para dicho trabajo.

### 3.2.8 Frecuencia de monitoreo

Los monitores se realizaron en las siguientes fechas:

La primera muestra (**afluente residual de la laguna de oxidación**) se tomó el día 11/09/2019.

La segunda muestra (estanques con macrófitas) se tomó el día 25/09/2019.

La tercera muestra (estanques con macrófitas) se tomó el día 09/10/2019.

Además, se tomó una cuarta muestra (**efluente residual de la laguna de oxidación**) se tomó el día 09/10/2019.

**Tabla 2:** Frecuencia de monitoreo de parámetros fisicoquímicos y biológicos.

PROCESO DE INVESTIGACIÓN																		
ACTIVIDAD	SEPTIEMBRE												OCTUBRE					
	2 SEMANA								4 SEMANA				2 SEMANA					
	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J
Monitoreo de parámetros de laboratorio			X							X						X		

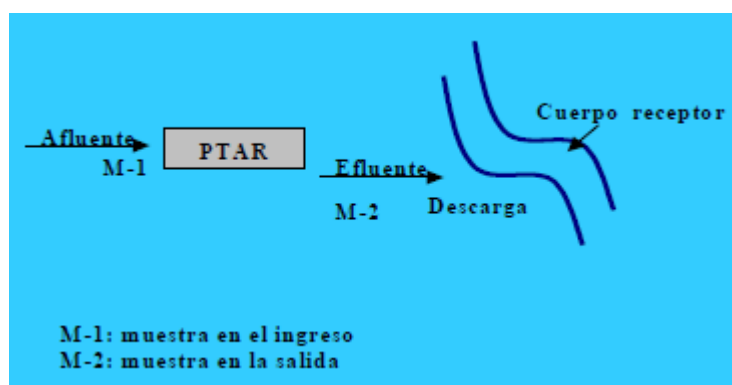
### 3.2.9 Procedimiento de muestreo de datos

Para realizar el muestreo de datos se siguió lo establecido en el protocolo de nuestro país denominado “muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento” (MINAM, 2006). Se colectó muestras en el ingreso de la planta de tratamiento (afluente) las mismas que fueron sometidas al tratamiento con las plantas fitorremediadoras, siguiendo los siguientes pasos.

Se colocó el envase contra el sentido del afluente. Los envases para análisis físico-químico se deben enjuagar según las veces que sea necesario, y mas no para microbiológicos.

Para la toma de muestra, se sumergió el frasco de muestreo en sentido contrario a la corriente, a unos 20 cm debajo de la superficie y lo más distante a la orilla, evitando puntos muertos.

También se colectó muestras a la salida de la planta (efluente), a fin de verificar la eficiencia de tratamiento, tal como se indica en la figura 5.



**Figura 5:** Muestra en Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PTAR

**Tabla 3:** *Preservación de parámetros fisicoquímicos y biológico*

Parámetro	Tipo de frasco	Volumen de muestra	Preservación	Tiempo de almacenaje
pH	P o V		Refrigerar a 4°C	15 min
Conductividad	P o V	125 – 300 ml	Refrigerar a 4°C	28 días
Oxígeno Disuelto	V	300 ml	Analizar inmediatamente	30 min
DBO <sub>5</sub>	P o V	1000 ml	Refrigerar a 4°C	6h - 24 horas
DQO	P o V	100 - 200 ml	Refrigerada a 4°C pH<2	7 - 28 días
Temperatura	P o V		Analizar inmediatamente	15 min

*Fuente: Adaptación de (MINAM, 2006).*

Donde:

P = Plástico (tipo polietileno o similar)

V = Vidrio

### 3.2.10 Análisis de muestras

#### a) Fase de Laboratorio

Evaluación de parámetros: Los parámetros evaluados son:

- ✓ pH
- ✓ Conductividad Eléctrica
- ✓ Oxígeno Disuelto
- ✓ DBO<sub>5</sub>
- ✓ Temperatura.

Para medir pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Temperatura se utilizó el equipo Multiparámetro Multi 3630 IDS.

Los equipos utilizados para la medición de estos parámetros son del laboratorio de la escuela profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental y del laboratorio de química de la Universidad Nacional de Jaén.

Para el análisis de DBO<sub>5</sub>, se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén, también recibimos apoyo del

laboratorio del Lic. Alex Guerrero Becerra ubicado en la clínica Ricardo Palma – Jaén.

La metodología que se empleó en los análisis de las aguas residuales para cada parámetro se especifica en la Tabla 3.

✓ **Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

**Fundamento del análisis:**

Determinar la DBO<sub>5</sub> permitió evaluar el oxígeno consumido por los microorganismos presentes en la materia orgánica cuando se incubaba una muestra en la oscuridad a 20°C, durante 5 días.

**Procedimiento**

**1. Preparación del agua de dilución:**

- En primer lugar, se colocó 1000 ml de agua en un vaso de precipitación.
- Con la ayuda de las placas de reloj y una espátula se pesó en la balanza analítica 27.5 gr de cloruro de calcio dihidratado (CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O).
- Se añadió al vaso de precipitación con agua destilada.
- Luego se pesó 0.25 gr de cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>).
- Se añadió al vaso de precipitación con agua destilada.
- Seguidamente se pesó 22.5 gr de sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>).
- Se añadió al vaso de precipitación con agua destilada.
- Con una bageta se procedió a homogenizar.
- Luego con un aireador se oxigenó la solución preparada durante 20 minutos.

Seguidamente se tomó volúmenes de la muestra de acuerdo al resultado que se expresa en la tabla 4, para aguas residuales domésticas tratadas (funcionamiento regular) utilizando la cantidad de 2.4 ml por cada muestra y se colocó en botellas

Winkler (botella color transparente) de 355 ml y luego se aforo con agua de dilución.

Se midió la concentración de oxígeno disuelto, se tapó las botellas de modo que no quedo burbujas y se colocó en la incubadora a una temperatura de 20 °C, después de 5 días se realizó nuevamente la medición de oxígeno disuelto de las diluciones.

Para determinar la concentración de DBO<sub>5</sub> de las muestras, se reemplazó los datos de las mediciones de oxígeno disuelto antes y después de los 5 días, además del volumen total (botella) y de la muestra utilizada en la siguiente formula.

Calculamos la DBO<sub>5</sub>

$$DBO_5 = \frac{OD_i - OD_f}{P}$$

Donde:

$OD_i$  = Oxigeno Disuelto inicial

$OD_f$  = Oxigeno Disuelto final

$$P = \frac{\text{ml H}_2\text{O residual}}{\text{volumen de la botella winkler}}$$

**Tabla 4:** Criterios para determinar la dilución aproximada de la muestra.

Tipo de muestra	Mililitros de muestra
Residuales domésticas crudas fuertes	0,3 – 0,6 – 1,0
Residuales domesticas crudas normales	0,5 – 1,0 – 1,5
Residuales domesticas(estructuras intermedias)	1,0 – 2,0 – 3,0
Residuales domesticas tratadas (funcionamiento regular)	2,0 – 5,0 - 10
Residuales domesticas tratadas (funcionamiento normal)	5 – 10 – 20
Residuales domesticas tratadas (excelente funcionamiento)	10 – 20 - 50
Residuales lácteas, licores, cervecerías, gaseosas.	Aplicar la fórmula
Aguas superficiales parcialmente contaminadas	5,0 .....50
Aguas superficiales no contaminadas	50 – 70 – 90 - 100

Fuente: Navarro, Gaitan, & Duque (2007).

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Durante el periodo de evaluación se obtuvieron los siguientes resultados

En la tabla 5 se expresa los resultados obtenidos durante todo el periodo de investigación tanto el inicio (afluente), final (se promedió los resultados obtenidos durante el segundo y tercer análisis) y por ultimo un análisis del punto de descarga a un cuerpo de receptor (efluente).

El pH del agua residual que ingresó a los tratamientos fue un pH = 7.52 por ende el estanque con Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) disminuyó el pH del agua a 7.09 acercándolo a la neutralidad mientras que la Lenteja de agua (*Lemna minor*) lo hizo a pH = 8.15 y el testigo obtuvo un pH = 7.62.

La concentración de conductividad eléctrica del efluente inicial fue de 1387.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; sometiendo a los tratamientos con *Eichhornia crassipes* se alcanzó un valor de 382  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el estanque con *Lemna minor* se obtuvo un resultado de 446.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el testigo logro un valor de 941  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Con respecto al oxígeno disuelto del agua residual ingresó a los tratamientos con una concentración de 3.33 mg/L, pero el tratamiento con el Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) aumentó la concentración de este parámetro a 5.80 mg/L, *Lemna minor* lo hizo en un 4.40 mg/L y el testigo tuvo un valor de 3.40 mg/L.

La concentración de la DBO<sub>5</sub> en la muestra inicial fue de 140 mg/L, el cual el tratamiento con Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) bajó a 23.83 mg/L, el estanque con Lenteja de agua (*Lemna minor*) lo hizo a 31.52 mg/L y el testigo a 98.27 mg/L.

La temperatura que ingresó a los tratamientos tubo un valor de 25.20 °C; por consiguiente, el estanque con Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) disminuyó a 23.63 °C, mientras que la Lenteja de agua (*Lemna minor*) lo hizo a 23.73 °C, y el testigo disminuyo 23.93°C.



**Tabla 5: Resultados generales (ver anexo 1)**

Parámetros	Unidad de medida	Tratamientos						Efluente Residual
		<i>Eichornia crassipes</i>		<i>Lemna minor</i>		<i>Testigo</i>		
		Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	
pH	Unidad	7.52	7.09	7.52	8.15	7.52	7.62	7.12
Conductividad e.	µS/cm	1387.00	382.00	1387.00	446.00	1387.00	941.00	565.00
Oxígeno disuelto	mg/L	3.33	5.80	3.33	4.40	3.33	3.40	3.83
DBO <sub>5</sub>	mg/L	140.00	23.83	140.00	31.52	140.00	98.27	86.10
Temperatura	°C	25.20	23.63	25.20	23.73	25.20	23.93	23.80

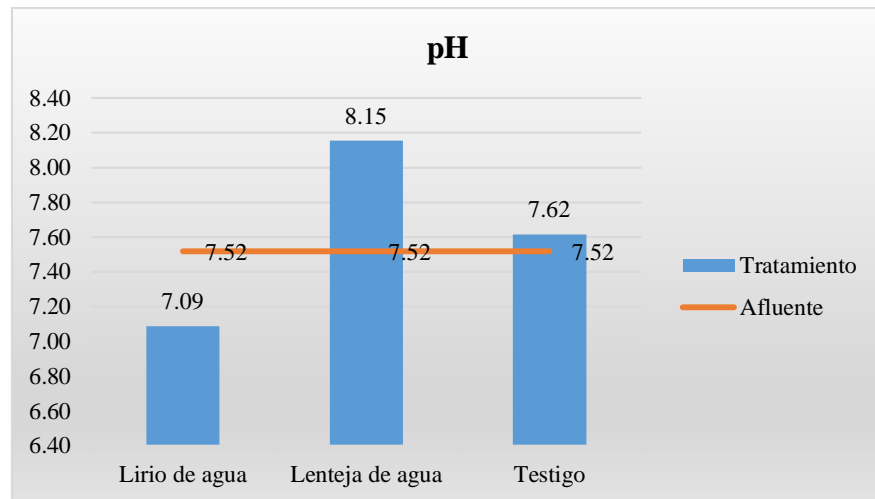
## 4.2 Evaluación y comparación del rendimiento de depuración del Jacinto (*Eichhornia Crassipes*) y Lenteja de Agua (*Lemna Minor*)

### 4.2.1 pH

En la figura 6 tomando en consideración el valor de pH se observa que inicio con 7.52, asimismo podemos ver que el tratamiento con Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) tiene una tendencia a neutralizar el agua residual al disminuirlo a un valor de 7.09, mientras que el tratamiento con Lenteja de agua (*Lemna minor*) tiene una tendencia a alcalinizar ligeramente el agua residual al aumentarlo a un valor de 8.15 y el testigo con un valor de 7.62.

Los elementos inorgánicos comunes en las aguas residuales incluyen cloruros e iones de hidrógeno que influyen en la acidificación y entre los compuestos que causan alcalinidad está el nitrógeno, fósforo y azufre, es necesario mencionar que la descomposición de materia orgánica o de ácidos orgánicos puede también disminuir el nivel de pH en aguas residuales domésticas Clostre (citado en Castillo, 2017).

El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6.5 y 8.5 es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9 donde relativamente existe la mayor parte de la vida biológica, las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos, si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH Rodier (citado en Castillo, 2017).



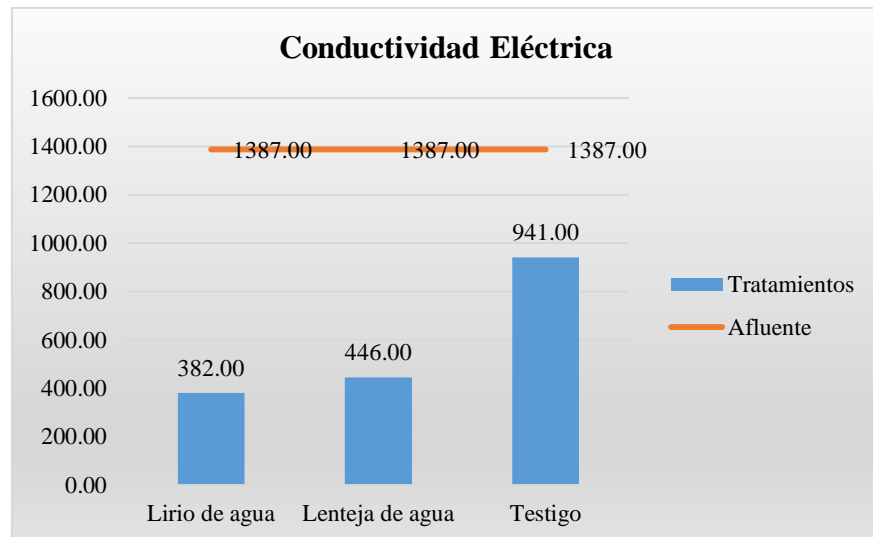
**Figura 6:** Valores de pH.

#### 4.2.2 Conductividad Eléctrica

En la figura 7 el parámetro evaluado es la conductividad eléctrica dando un valor inicial de 1387.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , muestra que el estanque con Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) es el más eficiente removedor de conductividad eléctrica con un 382  $\mu\text{S}/\text{cm}$  seguido por el estanque con (*Lemna minor*) con un 446  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el testigo con 941.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Las aguas residuales generalmente tienen tendencia a presentar niveles altos de iones como aquellos provenientes del cloruro de sodio (NaCl) sal común, muy utilizada en la alimentación y que según algunos estudios realizados pasan inalterados por el tracto digestivo, elevando el nivel de iones en las aguas residuales (Garcia, 2012).

El agua es más conductora de la electricidad cuando más minerales disueltos contengan. La medida de conductividad da una idea muy aproximada del contenido mineral del agua. Además, la conductividad eléctrica del agua se utiliza como una medida indirecta de la concentración de sólidos disueltos. Hay una relación directa entre conductividad y sólidos disueltos.



**Figura 7:** Valores de Conductividad eléctrica.

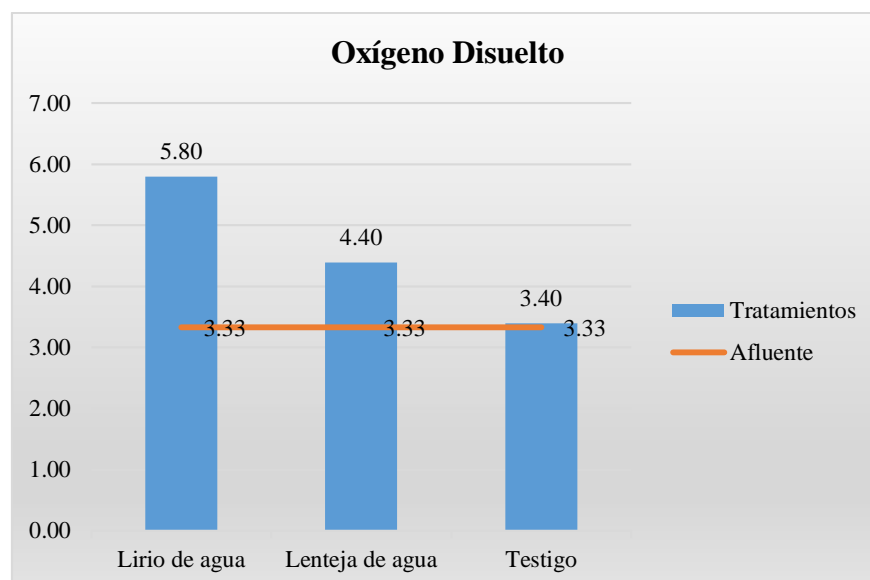
#### 4.2.3 Oxígeno Disuelto

En la figura 8 se realizó el análisis del oxígeno disuelto dando un resultado inicial de 3.33 mg/L, se aprecia que el Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) alcanza un incremento de un valor final de 5.80 mg/L, en el tratamiento con Lenteja de agua (*Lemna minor*) la concentración de oxígeno disuelto muestra un valor final de 4.40 mg/L y el testigo con 3.40 mg/L.

La oxigenación del agua se realiza mediante el oxígeno trasladado desde las hojas hasta el sistema radicular y de ahí al agua, el proceso inicia tras el contacto de las hojas con el oxígeno atmosférico, éste pasa de la superficie de las hojas al tallo que están en contacto con ella, en esa zona y de éstos tallos situados a continuación en la dirección descendente, iniciándose de esta manera el descenso del oxígeno de forma continua hasta sus raíces y rizomas (Torres, 2010)

La cantidad de oxígeno en el agua depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión. No existe concentración mínima de O<sub>2</sub> que cause efectos adversos a la salud humana, pero si existe un límite en cuanto a O<sub>2</sub> que se requiere para sostener la vida de la fauna acuática. Se acepta que concentraciones de 5 mg/L son adecuadas para su desarrollo, en

tanto que concentraciones menores a 3 mg/L pueden ser letales (Garcia, 2012).

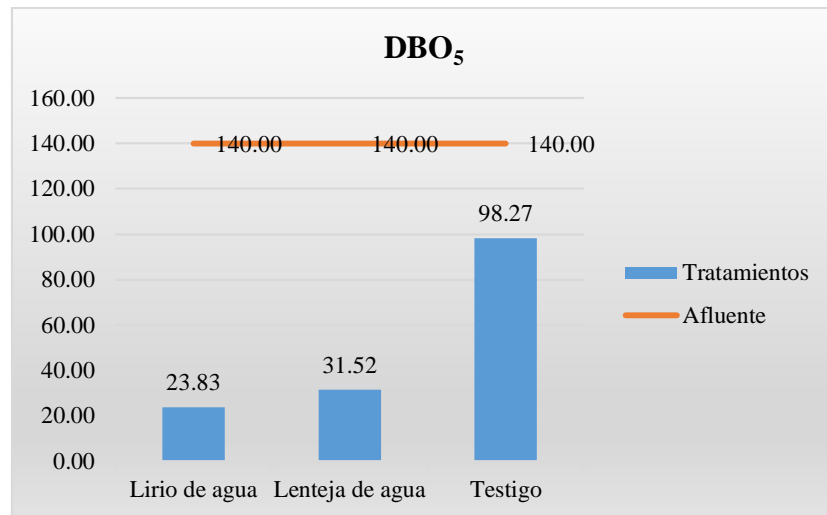


**Figura 8:** Valores de Oxígeno disuelto.

#### 4.2.4 DBO<sub>5</sub>

En la figura 9 representa los valores de la DBO<sub>5</sub> durante el mes de investigación como resultado inicial tenemos 140.00 mg/L, en el estanque con Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) con un resultado final promedio de 23.83 mg/L, mientras que el estanque con Lenteja de agua (*Lemna minor*) se obtuvo un valor final de 31.52 mg/L y el testigo con 98.27 mg/L.

La remoción de DBO<sub>5</sub> se debe en estos sistemas tratados con plantas acuáticas, a que las raíces densas proporcionan más sitios de adhesión para las colonias bacterianas degradadoras de materia orgánica y actúan como filtros de material particulado Garcia (2012). Las concentraciones de DBO<sub>5</sub> en las aguas residuales varían entre 100 y 300 mg/L, pero los efluentes vertidos a los cuerpos de agua no deben pasar los 100 mg/L de DBO, aunque la concentración más adecuada debe ser por debajo de 15 mg/L.

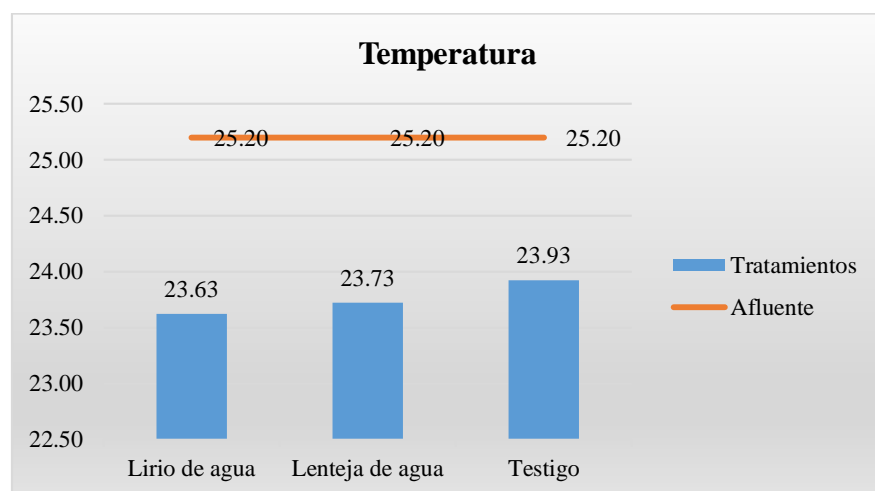


**Figura 9:** Valores de DBO<sub>5</sub>.

#### 4.2.5 Temperatura

En la figura 11 representa los valores de temperatura teniendo un resultado inicial de 25.20 °C, durante el mes de investigación en el estanque con Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) se consiguió un resultado final de 23.63 °C, mientras que el estanque con Lenteja de agua (*Lemna minor*) se obtuvo un valor final de 23.73 °C y el testigo con 23.93 °C.

Podemos observar que el Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) tiene la temperatura más baja esto debido a que dicha especie tiene hojas anchas y brinda mayor cobertura dentro del estanque disminuyendo así la temperatura (Garcia, 2012).



**Figura 10:** Valores de temperatura.

### 4.3 Comparación de los resultados con los Límites Máximos Permisibles.

Ley General del Ambiente, dispone que el estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades, la ley general del ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (MINAM, Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, 2010). Los resultados que se obtuvieron durante el proceso de investigación se compararon con el efluente de la planta de tratamiento de las aguas residuales de la provincia de Jaén y con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales especificados en el D.S N° 003-2010-MINAM.

La muestra se tomó del efluente (punto de descarga) ubicado a orillas de la quebrada Tumbillan la misma que descarga sus aguas al Río Amojú. (*ver figura 2*).

Cabe resaltar que en la tabla 6 presenta la comparación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos con el Efluente y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales especificados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM entre ellos tenemos pH, Demanda Biológica de Oxígeno y Temperatura que presentaron valores por debajo de los Límites Máximos Permisibles. Por consecuente los parámetros como el Oxígeno disuelto y Conductividad Eléctrica obtuvieron valores óptimos durante el proceso puesto que no se pudo comparar con los Límites Máximos Permisibles por no estar especificados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. En esta comparación nos podemos dar cuenta que el tratamiento con *Eichhornia carssipes* presento una mejor eficacia de remoción.

**Tabla 6:** Comparación de los resultados con los Límites Máximos Permisibles

Parámetros	Unidad de medida	Tratamientos			Efluente Residual de la laguna de oxidación	LMP
		<i>Eichornia crassipes final</i>	<i>Lemna minor final</i>	Testigo final		
pH	Unidad	7.09	8.15	7.62	7.12	6.5 - 8.5
Conductividad e.	μS/cm <sup>2</sup>	382.00	446.00	941.00	565.00	-
Oxígeno disuelto	mg/L	5.80	4.40	3.40	3.83	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	23.83	31.52	98.27	86.10	100.00
Temperatura	°C	23.63	23.73	23.93	23.80	<35

## V. DISCUSIÓN

Las Plantas macrófitas flotantes son una buena alternativa para la depuración de las aguas residuales en las PTAR. Las plantas acuáticas utilizadas fueron *Eichhornia crassipes* ("Jacinto de agua") y *Lemna minor* ("Lenteja de agua") el cual se adaptan a los cambios de temperatura de la zona de investigación.

El agua residual que ingresó a los tratamientos presentó un pH inicial de 7.52 (Tabla 5) pero en el periodo del tiempo de investigación los resultados nos muestran que la remoción de este parámetro con Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) logra que el pH del agua residual se acerque a la neutralidad con 7.09 (tabla 5), el tratamiento con Lenteja de agua (*Lemna minor*) hace que el agua residual obtenga un pH ligeramente alcalino con 8.15 (tabla 5). En la investigación realizada por Coronel, (2016) el agua residual que ingresó a los tratamientos presentó un pH de 8,73 en el caso del tratamiento con *Eichhornia crassipes* bajó los niveles de pH a 7.20 dejando el pH del agua casi en un estado neutro, mientras que *Lemna minor* redujo los niveles el pH a un 7.96.

Durante la experimentación de Rodríguez, Gómez, Garavito, & López (2009) se observó que cuando se utilizó la Lenteja de agua (*Lemna minor*) el pH aumento (>11), mientras que, con el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), los valores de pH del agua están en el rango de 6 a 8,0; favoreciendo la estabilización de la materia orgánica dentro del sistema biológico.

Valderrama (2005) manifiesta que *Eichhornia crassipes* estabiliza el pH y contribuye a producir valores más cercanos a la neutralidad del agua corroborando así lo dicho en esta investigación.

Con respecto a la Conductividad Eléctrica los resultados nos muestran que las plantas macrofitas son excelentes removedores de parámetros físicos la Conductividad inicial fue de 1387.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabla 5), sin embargo, *Eichhornia crassipes* logró mejores remociones que *Lemna minor* obteniendo resultados de 382.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabla 5) y 446.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabla 5) respectivamente. Los estudios realizados por Castillo (2017) muestran que obtuvieron resultados iniciales de 1226.75 mg/L, sometidos a tratamientos con *Eichhornia crassipes* obtuvieron valores de 113.25 mg/L y es el más eficiente removedor de conductividad eléctrica con un 90,77%, seguido por el estanque con *Lemna minor* con un valor de 346.5



mg/L que representa un 71,75%, luego se encuentra el control con un resultado de 1159.75 mg/L representa un porcentaje de remoción del 5,46%.

Celis *et al.* (citado en Coronel, 2016) manifiesta que *Eichhornia crassipes* posee un sistema de raíces, que tiene microorganismos asociados a ellas, lo que le permite remover los compuestos orgánicos y disminuir en gran manera los niveles de los parámetros físicos.

El Oxígeno Disuelto inicial dio como resultado 3.33 mg/L (Tabla 5), pero durante la investigación el sistema con lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) aumento esta concentración a 5.80 mg/L (Tabla 5) y *Lemna minor* lo hizo hasta 4.40 mg/L (Tabla 5). Los estudios realizados por Castillo (2017) presenta resultados de oxígeno disuelto inicial variable durante la época de análisis que fluctúan desde 0.20 mg/L, esto fue sometido a ser tratado con *Eichhornia crassipes* obteniendo resultados de 3.06 mg/l, en el tratamiento con *Lemna sp* un promedio de 1.48 mg/L.

Melo (2012) indica que *Eichhornia crassipes* desarrolla un tejido tubular poroso (aerenquima) en hojas y tallos que permite el transporte de oxígeno atmosférico al agua, y Garcia (2012) sustenta que el aumento de oxígeno disuelto por *Eichhornia crassipes* se debe a que esta especie demora más que *Lemna minor* en cubrir el área de los estanques, permitiendo que las algas presentes en los estanques realicen fotosíntesis y por ende generen oxígeno.

La DBO<sub>5</sub> inicial es de 140 mg/L (Tabla 5), sin embargo, en el tiempo de la investigación los resultados nos muestran que la remoción de este parámetro con *Eichhornia crassipes* logró una disminución a 23.83 mg/L (Tabla 5) y *Lemna minor* disminuyó a un 31.52 mg/L (Tabla 5). Los estudios realizados por Coronel, (2016) demuestran que la DBO<sub>5</sub> inicial fue de 169.39 mg/L, obteniendo resultados finales de 7.53 mg/L y 24,51 mg/L para el Jacinto y lenteja de agua respectivamente, no obstante, el estanque con *Eichhornia crassipes* logro remover en un 95,55% y fue el más eficiente removedor, mientras que *Lemna minor* removió un 85,53%. Cabe mencionar que los estudios realizados por el autor citado se realizaron en la ciudad de Chachapoyas dicha ciudad es de un clima muy frio a comparación de la ciudad de Jaén que es muy calurosa toda la parte del año, pero esto no obstaculizo que el Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) se desarrolle de la mejor manera y tenga un elevado poder remediador de materia orgánica a comparación de la lenteja de agua.

La investigación realizada por Rodríguez (2001) demostró que *Eichhornia crassipes* disminuya la concentración de DBO<sub>5</sub> en un rango de 80-90%, según este autor la disminución de los valores de demanda bioquímica oxígeno se debe a los microorganismos asociados a la zona radicular y la eficiencia en la eliminación de este parámetro está directamente relacionada con la densidad, cobertura y profundidad de esta especie en el agua.

Los estudios realizados por (Rodríguez, Gómez, Garavito, & López, 2009) en agua residuales domesticas utilizando como fuentes de tratamiento Lenteja (*Lemna minor*) y Lirio de agua (*Eichhornia crassipes*), presenta resultados de remoción de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>) de entre 70 y 86% al utilizar el Lirio o Buchón de Agua, y de 58% cuando se utiliza Lenteja de Agua.

La temperatura inicial fue de 25.20 °C (Tabla 5), durante el transcurso del proceso de la investigación el estanque con *Eichhornia crassipes* se redujo a 23.63 °C (Tabla 5), y el estanque con *Lemna minor* disminuyo a 23.73 °C (Tabla 5). Comparándolo así con Coronel, (2016) donde *Lemna minor* mantiene al agua con mayor temperatura que *Eichhornia crassipes*, esto es debido a que aumentó la temperatura del agua de 20.45 °C a 20.85 °C, sin embargo, el estanque con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) disminuyó la temperatura del agua de 20.45 °C a 19.98 °C.

Según algunos autores la temperatura en aguas tratadas con *Eichhornia crassipes* se reduce, debido a la sombra que proporcionan sus anchas hojas sobre la lámina de agua y puede incrementar a causa de la luminosidad provocada por las cosechas y el crecimiento de la especie, como en el caso de la *Lemna minor*. Esto es corroborado por el trabajo de Garcia (2012) donde indica que la temperatura en aguas tratadas con *Eichhornia crassipes* puede disminuir hasta en un 3.9 °C, debido a la sombra que proveen sus hojas gruesas y anchas.

Poma & Valderrama (2014) realizaron un estudio de parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie *Eichhornia crassipes*. Los resultados obtenidos fueron pH = 5, los porcentajes de sorción fueron de 16,56 % para Cd (II) y 15,6 % para el Hg (II) en un periodo de 7 días, en conclusión, el Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) puede usarse eficientemente como material adsorbente y para descontaminación de aguas residuales.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- Se construyó los estanques de fitorremediación para el Jacinto (*Eichhornia crassipes*), y Lenteja de agua (*Lemna minor*) estos estanques fueron de vidrio con dimensiones de 40 cm de largo, 30 cm de ancho y 30 cm de alto, en la cual se ingresó el agua residual del afluente a tratar.
- Se evaluó y comparó el rendimiento de depuración del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*); Quedando demostrado que *Eichhornia crassipes* es mejor fitorremediador que *Lemna minor*.
- Se comparó los parámetros pH, DBO<sub>5</sub> y Temperatura del afluente residual de las lagunas de oxidación con lo establecido en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM. Donde se obtuvo resultados de pH = 7.09, DBO<sub>5</sub> = 23.83 mg/L, Temperatura = 23.63 °C con *Eichhornia crassipes*, pero con *Lemna minor* se estableció resultados de pH = 8.15, BO<sub>5</sub> = 31.52 mg/L y Temperatura = 23.73 °C; se identificó que las especies evaluadas tienden a dar un mejor tratamiento a las aguas residuales domésticas de la provincia de Jaén. Los parámetros como Oxígeno Disuelto y Conductividad Eléctrica no pudieron ser comparadas porque no están establecidos en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM.
- Se logró tratar el afluente de la laguna de oxidación empleando *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* como fitorremediadores; en Jaén-Cajamarca. Se determinó que aplicando un tratamiento con plantas acuáticas flotantes es más eficiente en la remoción de contaminantes de las aguas residuales domésticas.

## 6.2 Recomendaciones

- Las dos especies utilizadas en esta investigación demostraron ser buenos removedores de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Jaén.
- Se recomienda que en futuras investigaciones la evaluación de parámetros lo realicen en un lapso de tiempo más prologando e incluso utilizar las dos especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en un solo estanque, también pueden incluir otras especies acuáticas e incluso analizar más parámetros.
- En nuestra investigación utilizamos un sistema discontinuo, pero en investigaciones posteriores si tuvieran la economía pueden realizarlo aplicando un sistema continuo, así mismo pueden tomar más muestras en un menor lapso de tiempo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, S. O., Delgadillo, L. A., González, R. C., Prieto, G. F., & Villagómez, I. J. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación . *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 597 - 612.
- Arce, J. L. (2013). *Urbanizaciones sostenibles: Descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales*. Recuperado el 04 de 11 de 2019
- Castillo, R. E. (2017). *Eficiencia de lemna sp y eichhornia crassipes, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín*. Cajamarca - Perú. Recuperado el 04 de 11 de 2019
- Coronel, C. E. (2016). *Eficiencia del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y lenteja de agua (Lemma minor), en el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - Chachapoyas, 2015*. Chachapoyas. Recuperado el 12 de 10 de 2019
- Garay, A. I. (2017). *"Eficacia de las macrofitas Jacinto y Lenteja de Agua para disminuir la concentracion del Boro, en las Aguas minerotermales de la "Laguna la Milagrosa"- Chilca, 2017*. Lima. Recuperado el 11 de Octubre de 2019
- Garcia, T. Z. (2012). *"Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas"*. Lima - Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado el 12 de Diciembre de 2019
- Gualán, M. S. (2016). *"Evaluación del pasto alemán (Echinochloa polystachya) y lenteja de agua (Lemna minor) como especies fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña, provincia de Zamora Chinchipe."*. Tesis, Zamora - Ecuador. Recuperado el 12 de Diciembre de 2019
- Martelo, J. A., & Borrero, L. (2012). Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. 8(15), 243.
- Melo, G. (2012). *Evaluación fitodepurante de un sistema biológico artificial en aguas de riego como alternativa para la sostenibilidad del recurso hídrico*. Chia - Cundinamarca: Universidad La Sabana. Recuperado el 12 de Diciembre de 2019

- MINAM. (2006). *Muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2019
- MINAM. (2010). *Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Obtenido de DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.
- Minaya, V. R. (2017). *Parámetros Físicos, Químicos, Microbiológicos, Para Determinar La Calidad Del Agua En La Laguna Moronacocha, Época De Transición Creciente-Vaciante. Iquitos. Peru. 2016*. Tesis, Iquitos - Perú. Recuperado el 12 de Diciembre de 2019
- Navarro, R. M., Gaitan, M. S., & Duque, S. M. (2007). *Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría*.
- Núñez, L. R., Meas, V. Y., Ortega, B. R., & Olguín, E. (2004). Fitorremediación: Fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*, 69 - 82.
- Perales, V. K. (2018). *“Tratamiento de aguas residuales domésticas por fitorremediación con Eichhornia crassipes en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017.”*. Tesis , Moyobamba - Perú. Recuperado el 12 de Diciembre de 2019
- Poma, L. V., & Valderrama, N. A. (2014). Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie Eichhornia crassipes (jacinto de agua). *Soc Quím Perú - Scielo*, 164 - 173.
- Rodríguez, C. (2001). *Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales*. La Habana - Cuba: Instituto Superior Politécnico Jose A. Echeverría (ISPJAE). Recuperado el 11 de Diciembre de 2019
- Rodríguez, M. J., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2009). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Scielo*, 59 - 68.
- Torres, V. (2010). *El filtro de macrófitas en flotación para la depuración de las aguas residuales y la regeneración de ríos, lagos*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2019.

Valderrama, L. (2005). *Las plantas acuáticas una alternativa para el tratamiento de aguas*. Bogota - Colombia: Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental.  
Recuperado el 12 de 12 de 2019

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecemos a Dios por protegernos y guiarnos durante este camino, por darnos la sabiduría para superarse y ser mejores cada día.*

*A nuestras familias por su apoyo incondicional.*

*A la EPS – MARAÑÓN por permitirnos el uso de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de Jaén para el desarrollo de la tesis.*

*A la Universidad Nacional de Jaén, por ser nuestra alma mater y a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, por sus enseñanzas y su apoyo incondicional, que nos permitieron realizar y concluir nuestros estudios.*

*Al M.Sc. Víctor Hugo Gómez Ramírez, nuestro asesor, por la ayuda brindada durante la investigación realizada del proyecto.*

*A los amigos, amigas y profesionales que de una u otra manera aportaron ideas para la realización del presente trabajo.*



## **DEDICATORIA**

*A nuestros padres por el apoyo moral y emocional brindado desde el inicio de nuestra formación universitaria, por haber sido nuestro apoyo en todo momento, por sus consejos, por su ejemplo de trabajo, perseverancia y constancia, por sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por ser las personas que nos enseñaron a ser quienes somos y por su amor incondicional.*

*A nuestros padres por el apoyo moral y emocional brindado desde el inicio de nuestra formación como Forestales y Ambientales.*

*A nuestros familiares, amigos, compañeros de la universidad y a quienes se sumaron a nuestras vidas para hacernos compañía con sus sonrisas, palabras de ánimo, con sus consuelos y sus grandes enseñanzas.*

## ANEXOS

### *Anexo 1: Resultados de los análisis de parámetros físicoquímicos y microbiológico*

**Tabla 7: Resultados del primer monitoreo**

Parámetros analizados						
Fecha de análisis	Procedencia de la muestra	pH	CE	OD	DBO <sub>5</sub>	Temperatura
			μS/cm	mg/L	mg/L	°C
11/09/2019	<i>Eichhornia crassipes</i>	7.52	1387.00	3.33	140.00	25.20
11/09/2019	<i>Lemna minor</i>	7.52	1387.00	3.33	140.00	25.20
11/09/2019	Testigo	7.52	1387.00	3.33	140.00	25.20

**Tabla 8: Resultados del segundo monitoreo**

Parámetros analizados						
Fecha de análisis	Procedencia de la muestra	pH	CE	OD	DBO <sub>5</sub>	Temperatura
			μS/cm	mg/L	mg/L	°C
25/09/2019	<i>Eichhornia crassipes</i>	7.25	405.00	5.23	25.21	24.15
25/09/2019	<i>Lemna minor</i>	8.50	505.00	4.02	32.24	23.10
25/09/2019	Testigo	7.60	1027.00	3.39	110.00	24.20

**Tabla 9: Resultados del tercer monitoreo**

Parámetros analizados						
Fecha de análisis	Procedencia de la muestra	pH	CE	OD	DBO <sub>5</sub>	Temperatura
			μS/cm	mg/L	mg/L	°C
09/10/2019	<i>Eichhornia crassipes</i>	6.93	359.00	6.37	22.45	23.10
09/10/2019	<i>Lemna minor</i>	7.81	387.00	4.77	30.80	24.35
09/10/2019	Testigo	7.63	855.00	3.41	86.53	23.65

### *Anexo 2: Análisis de varianza*

**Tabla 10: Análisis de varianza para el pH**

Fuente de variación	Gl	SC	CM	F
Tratamientos	2	0.76	0.38	3.29
Error	6	0.69	0.12	
Total	8	1.45		

**Tabla 11:** *Análisis de varianza para la conductividad eléctrica*

Fuente de variación	Gl	SC	CM	F
Tratamientos	2	249,600.89	124,800.44	0.53
Error	6	1,419,093.33	236,515.56	
Total	8	1,668,694.22		

**Tabla 12:** *Análisis de varianza para el oxígeno disuelto*

Fuente de variación	Gl	SC	CM	F
Tratamientos	2	3.88	1.94	2.02
Error	6	5.76	0.96	
Total	8	9.64		

**Tabla 13:** *Análisis de varianza para la DBO<sub>5</sub>*

Fuente de variación	Gl	SC	CM	F
Tratamientos	2	4,468.83	2234.42	0.73
Error	6	18,283.97	3047.33	
Total	8	22,752.81		

**Tabla 14:** *Análisis de varianza para la temperatura*

Fuente de variación	Gl	SC	CM	F
Tratamientos	2	0.06	0.03	0.03
Error	6	5.67	0.95	
Total	8	5.73		

### ***Anexo 3: Panel fotográfico***



***Fotografía 1: Instalación de los estanques***



***Fotografía 2: Recolección de Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)***



***Fotografía 3: Recolección de la Lenteja de agua (Lemna minor)***



***Fotografía 4: Recolección del agua residual***

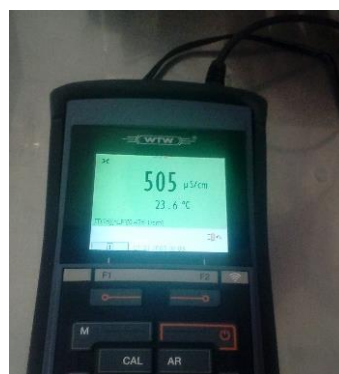


***Fotografía 5: Instalación del agua residual en los estaqués***

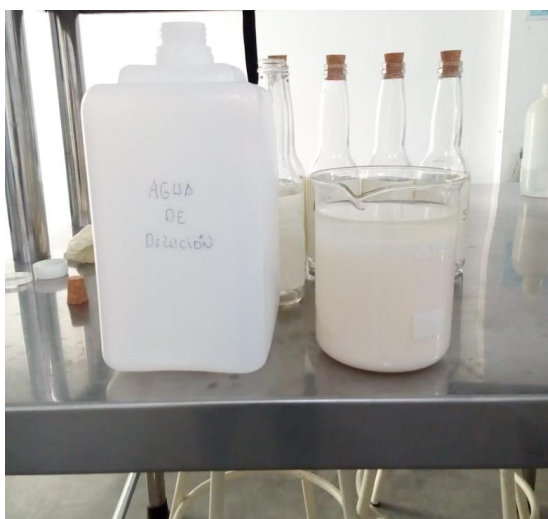


***Fotografía 6: Instalación de las especies acuáticas***





**Fotografía 7:** Análisis de parámetros con el equipo Multiparámetro Multi 3630 IDS (pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad, Temperatura)



**Fotografía 8:** Preparación del agua de dilución



**Fotografía 9:** Calculo de OD inicial - Análisis de la DBO<sub>5</sub>



***Fotografía 10: Calculo de OD final – Análisis de la DBO<sub>5</sub>***



***Fotografía 11: Poza con Lirio de agua – Playa escondida***